Projektowanie konstrukcji stalowych. Cz. 2, Belki, płatwie, węzły i połączenia, ramy, łożyska / Jan Żmuda. – Warszawa, cop. 2016

Spis treści

Przedmowa do części 2 **XIII**

Podstawowe oznaczenia **XIV**

9. Ugięcia i nośności dźwigarów pełnościennych **1**
9.1. Ogólna charakterystyka i zastosowanie dźwigarów pełnościennych 1
9.2. Klasyfikacja, oznaczenia cech geometrycznych przekrojów belek 2
9.3. Ogólne podstawy projektowania dźwigarów pełnościennych 4
9.3.1. Długość obliczeniowa i konstrukcyjna belki 4
9.3.2. Reakcje podporowe, siły i momenty zginające przekrojowe, nośności przekrojów 5
9.3.3. Ugięcia 6
9.4. Zwichrzenie dźwigara pełnościennego 7
9.4.1. Zjawisko zwichrzenia 7
9.4.2. Teoretyczne podstawy określania momentów krytycznych zwichrzenia 9
9.4.3. Moment krytyczny belki monosymetrycznej 10
9.4.4. Moment krytyczny dwuteowej belki bisymetrycznej 14
9.4.5. Moment krytyczny belki wspornikowej 16
9.4.6. Współczynnik zwichrzenia i smukłość względna 18
9.5. Nośność dźwigara bez pośrednich podparć bocznych zabezpieczających przed zwichrzeniem 21
9.5.1. Uwagi ogólne 21
9.5.2. Zginanie jednokierunkowe 22
9.5.3. Zginanie dwukierunkowe 22
Przykład P9.1 Belka jednoprzęsłowa niestężona, podparta widełkowo na podporach 23
Przykład P9.2. Belka wspornikowa niestężona 25
Przykład P9.3. Jednoprzęsłowy dźwigar spawany obciążony siłami rozłożonymi, podparty widełkowo, bez stężenia pośredniego 26
Przykład P9.4. Jednoprzęsłowy dźwigar spawany obciążony ciężarem własnym (w montażu) 28
9.6. Konstrukcyjne zabezpieczenia (stężenia boczne) przed zwichrzeniem 31
9.6.1 Uwagi ogólne 31
9.6.2. Punktowe konstrukcyjne stężenia zabezpieczające przed zwichrzeniem 31
Przykład P9.5. Dźwigar spawany ze stężeniem bocznym punktowym pasa ściskanego 36
9.6.4. Stężenia konstrukcyjne wymuszające oś obrotu zwichrzenia belki 38

9.6.5. Ciągłe konstrukcyjne stężenia zabezpieczające belki przed zwichrzeniem 39
9.7. Nośność zginanych dźwigarów zabezpieczonych konstrukcyjnie przed zwichrzeniem 41
9.7.1. Zginanie jedno- i dwukierunkowe 41
9.7.2. Ścinanie przekrojów 43
9.7.3. Zginanie ze ścinaniem 45
9.7.4. Zginanie z siłą podłużną 45
9.7.5. Kryterium początku uplastycznienia 47
Przykład P9.6. Nośność plastyczna zginanego dźwigara walcowanego jednoprzęsłowego 49
Przykład P9.7. Nośność zginanego i ścinanego monosymetrycznego dźwigara spawanego 50
Przykład P9.8. Dźwigar zginany i ściskany zabezpieczony przed zwichrzeniem 53
9.8. Skręcanie belek z kształtowników 55
9.8.1. Podstawy teoretyczne 55
9.8.2. Wewnętrzne momenty skręcające 57
9.8.3. Naprężenia w przekrojach poprzecznych 59
9.8.4. Nośność przekrojów skręcanych według Eurokodu 61
Przykład P9.9. Nośność dźwigara walcowanego skręcanego i zginanego 61
9.9. Analiza sprężysta belek statycznie niewyznaczalnych 66
9.9.1. Uwagi ogólne 66
9.9.2. Momenty zginające w zakresie sprężystym, nośność 67
9.10. Globalna analiza plastyczna belek statycznie niewyznaczalnych 69
9.10.1. Założenia i metody analizy 69
9.10.2. Przegub plastyczny 70
9.10.3. Metoda przyrostowa w określaniu obciążeń granicznych 73
9.10.4. Zasada prac wirtualnych w określaniu obciążeń granicznych 75
9.10.5. Nośność belki statycznie niewyznaczalnej 77
Przykład P9.10. Obciążenia graniczne belki walcowanej jednoprzęsłowej obustronnie utwierdzonej określone metodą przyrostową 78
Przykład P9.11. Obciążenia graniczne belki walcowanej jednoprzęsłowej jednostronnie utwierdzonej określone wg zasady prac wirtualnych 81
Przykład P9.12. Nośność podciągu trójprzęsłowego określona metodą kinematyczną 83
9.11. Środnik belki pod obciążeniem skupionym 86
9.11.1. Rodzaje odkształceń średnika 86
9.11.2. Naprężenia ściskające w średniku przy obciążeniu skupionym 86
9.11.3. Nośność średnika przy lokalnym uplastycznieniu i utracie stateczności miejscowej 88
9.11.4. Długość strefy docisku 88
9.11.5. Długość efektywnej strefy rozkładu naprężeń 89
9.11.6. Interakcja nośności od obciążenia skupionego, momentu zginającego i siły podłużnej 91
9.11.7. Nośność średnika przy wyboczeniu 91

Przykład P9.13. Nośność średnika belki pod obciążeniem skupionym 92
9.12. Niestateczność miejscowa nieużebrowanych zginanych przekrojów klasy 4 96
9.12.1. Uwagi ogólne 96
9.12.2. Przekrój efektywny belki z pasem klasy 4 98
9.12.3. Przekrój efektywny średnika klasy 4 100
9.12.4. Przekrój współpracujący klasy 4 101
9.12.5. Niestateczność średnika przy ścinaniu 102
9.12.6. Stateczność pasa przy smukłym średniku 104
9.12.7. Interakcja poprzecznych sił ścinających, momentu zginającego i siły podłużnej 104
Przykład P9.14. Nośność dźwigara spawanego o przekroju poprzecznym klasy 4 105
9.13. Podparcia i utwierdzenia belek 108
9.13.1 Uwagi ogólne 108
9.13.2. Podparcie w ścianach 108
9.13.3. Utwierdzenie końca belki w ścianie 114
9.13.4. Podparcia belek na podciągach stalowych 115

10. Belki walcowane 119
10.1. Przekroje poprzeczne 119
10.2. Belki bisymetryczne 121
10.2.1. Dobór przekroju poprzecznego 121
10.2.2. Procedura projektowania 122
Przykład P10.1. Belka walcowana bisymetryczna jednoprzęsłowa 122
Przykład P10.2. Belka dwuprzęsłowa bisymetryczna 123
10.3. Belki walcowane, ażurowe 125
Przykład P10.3. Dźwigar ażurowy z kształtowników walcowanych 129
10.4. Belki monosymetryczne o przekroju ceowym 132
Przykład P10.4. Rygiel ściany osłonowej z pojedynczego ceownika 134
10.5. Niesymetryczne przekroje belek 137
Przykład P10.5. Płatew okapowa o niesymetrycznym przekroju poprzecznym 139
10.6. Belki wzmacniane 142
Przykład P10.6. Wzmocniona walcowana belka stropowa 144

11. Płatwie dachowe 146
11.1. Charakterystyka ogólna 146
11.2. Schematy statyczne i obciążenia 148
11.2.1. Jednoprzęsłowe i wieloprzęsłowe płatwie 148
11.2.2. Jednokierunkowe i dwukierunkowe zginanie 150
11.3. Płatwie z kształtowników walcowanych 151
11.3.1. Schematy statyczne - podwieszane płatwie 151
11.3.2. Zwichrzenie płatwi walcowanych 154
11.3.3. Płatwie stężane pokryciem dachu 154
Przykład P11.1. Podwieszana trójprzęsłowa płatew dachowa

z kształtownika IPE 160 154
11.3.4. Płatwie walcowane stężane blachami profilowanymi 161
Przykład P11.2. Płatew wieloprzęsłowa z kształtownika walcowanego stężona blachą fałdową 168
11.4. Płatwie cienkościenne z kształtowników profilowanych na zimno 172
11.4.1. Wiadomości ogólne. Stałe wyjściowe 172
11.4.2. Cechy geometryczne profili cienkościennych 173
11.4.3. Niestateczność miejscowa i dystorsyjna 175
11.4.4. Niestateczność ogólna (zwichrzenie) płatwi przy wymuszonej poszyciem osi obrotu 180
11.4.5. Nośność przy zginaniu 186
Przykład P11.3. Płatew o przekroju cienkościennym ceowym, z pojedynczym zagięciem, jednoprzęsłowa, stężona poszyciem z blachy trapezowej 187
Przykład P11.4. Płatew cienkościenna o przekroju zetowym, wieloprzęsłowa ze stężeniem z blachy fałdowej 196

12. Spawane dźwigary pełnościenne 205
12.1. Informacje ogólne, przekroje poprzeczne 205
12.2. Projektowanie wymiarów przekrojów poprzecznych dźwigarów nieużebrowanych podłużnie 206
12.2.1. Ciężar własny 206
12.2.2. Wysokość środnika 206
12.2.3. Grubość środnika 207
12.2.4. Przekrój pasa 208
12.3. Kształtowanie podłużne blachownicy 208
12.4. Nośność blachownie 212
12.5. Styki warsztatowe i montażowe blachownicy. Spoiny łączące pasy ze średnikiem 212
Przykład P12.1 Dźwigar spawany pełnościenny jednoprzęsłowy ze stopniowaną grubością pasów 214
Przykład P12.2. Dźwigar spawany dwuprzęsłowy 221
12.6. Dźwigary spawane ze środnikami z cienkich blach profilowanych 228
12.6.1. Cechy geometryczne i zastosowanie 228
12.6.2. Nośność przy zginaniu 229
12.6.3. Nośność przy ścinaniu 230
12.6.4. Ugięcie dźwigarów 231
12.7. Dźwigary spawane użebrowane 231
12.7.1. Charakterystyka i zastosowanie 231
12.7.2. Teoretyczne podstawy stateczności miejscowej idealnych płyt prostokątnych 233
12.7.3. Przekrój efektywny przekroju poprzecznego zginanego użebrowanego dźwigara ze ściankami klasy 4 241
12.7.4. Nośność przy ścinaniu średników klasy 4 przekrojów poprzecznych dźwigarów spawanych 253
12.7.5. Żebra usztywniające średniki klasy 4 257

Przykład P12.3. Dźwigar spawany z żebrami podłużnymi i poprzecznymi 263
Przykład P12.4. Dźwigar skrzynkowy spawany z użebrowanymi ściankami klasy 4 274
12.7.6. Stateczność średników klasy 4 w świetle metody naprężeń zredukowanych 285
Przykład P12.5. Stateczność średnika dźwigara spawanego obliczona metodą naprężeń zredukowanych 291

13. Węzły, połączenia elementów zginanych 297
13.1. Definicja węzła 297
13.2. Klasyfikacje węzłów 297
13.2.1. Klasyfikacja sztywności węzłów 298
13.2.2. Klasyfikacja nośności 299
13.3. Modelowanie węzłów 300
13.4. Połączenia przegubowe elementów zginanych 302
13.4.1. Rodzaje i podział połączeń 302
13.4.2. Połączenia przegubowe belki z nakładkami z płaskowników 305
Przykład P13.1 Połączenie przegubowe zakładkowe, śrubowe belki z podciągiem 309
13.4.3. Połączenia przegubowe śrubowe z zakładkami z kątowników pomocniczych 311
Przykład P13.2. Połączenie przegubowe belki z podciągiem z kątownikami pomocniczymi 312
13.4.4. Połączenia przegubowe śrubowe z blachami czołowymi 315
13.4.5. Połączenia przegubowe ze stołkami podporowymi 316
Przykład P13.3. Połączenie przegubowe belki ze słupem z podatnym stołkiem podporowym 319
Przykład P13.4. Połączenie przegubowe belki ze słupem i sztywnym stołkiem podporowym 321
13.4.6. Spawane połączenia przegubowe belki ze słupem 323
Przykład P13.5. Połączenie przegubowe belki ze słupem ze spawanymi kątownikami pomocniczymi 326
13.4.7. Styki przegubowe zakładkowe belek 328
Przykład P13.6. Styk zakładkowy przegubowy belki walcowanej 329
13.5. Węzły sztywne 331
13.5.1. Konstrukcje, rodzaje sztywnych węzłów i połączeń 331
13.5.2. Siły i momenty działające w węźle i modelu każdego węzła 332
13.5.3. Nośność węzła sztywnego rygla z nieużebrowanym średnikiem słupa 333
13.6. Węzły śrubowe (doczołowe) rygli ze słupami ram z kształtowników dwuteowych 334
13.6.1. Uwagi ogólne 334
13.6.2. Nośności obliczeniowe podstawowych elementów składowych węzła 335
13.6.3. Modele zniszczenia zastępczych króćców teowych 337
13.6.4. Nośność zginanego pasa słupa w węźle doczołowym 338

13.6.5. Nośność zginanej blachy czołowej siłą rozciągającą $N_{t,Ed}$ 342
13.6.6. Nośność pasów i środnika belki w węźle doczołowym 343
13.6.7. Nośność węzłów doczołowych 344
13.6.8. Sztywność obrotowa węzła 344
Przykład P13.7. Węzeł doczołowy rygla ramy IPE 300 i słupa HEB 240 348
13.7. Węzły z nakładkami z kątowników 358
13.7.1. Uwagi ogólne 358
13.7.2. Nośność elementów węzła 359
13.7.3. Sztywność węzła z nakładkami z kątowników 360
13.8. Węzły spawane rygli ze słupami z nieużebrowanymi średnikami 360
13.8.1. Uwagi ogólne 360
13.8.2. Nośność obliczeniowa elementów podstawowych połączenia 362
Przykład P13.8. Nieużebrowany węzeł spawany rygla IPE 300 ze słupem HEB 240 363
13.9. Zdolność węzła do obrotu 366
13.9.1. Zasady ogólne 366
13.9.2. Węzły sztywne śrubowe 367
13.9.3. Węzły sztywne spawane 368
13.10. Węzły z użebrowanymi panelami średników słupów 370
13.10.1. Wytyczne obliczeń 370
13.10.2. Pole przekrojów żeber usztywniających 372
Przykład P13.9. Węzeł spawany z żebrami poziomymi usztywniającymi panel środnika słupa 373
Przykład P13.10. Spawany węzeł sztywny narożny ramy prostokątnej 374
13.11. Połączenia ciągłe zakładkowe 377
13.11.1. Połączenia krzyżujących się belek 377
Przykład P13.11 Połączenie sztywne belki ciągłej z podciągiem z nakładkami z płaskowników 379
Przykład P13.12. Połączenie sztywne belki ciągłej z podciągiem z blachami czołowymi belek 383
13.12. Styki ciągłe (sztywne) belek 385
13.12.1. Rodzaje styków sztywnych 385
13.12.2. Styk zakładkowy śrubowy lub spawany 387
Przykład P13.13. Styk ciągły belki walcowanej jednoprzęsłowej 388
13.12.3. Styk śrubowy z blachami czołowymi 392
Przykład P13.14. Styk ciągły śrubowy doczołowy rygla ramy 393
13.12.4. Styki słupów wielokondygnacyjnych 395
Przykład P13.15. Styk śrubowy rury rozciąganej 397

14. Ramy nośne 399
14.1. Uwagi ogólne, schematy statyczne, przekroje poprzeczne 399
14.2. Podstawy obliczania nośności ram metodą globalnej analizy sprężystej 402
Przykład P14.1. Rama stalowa parterowa jednoprzęsłowa, przechyłowa 403
Przykład P14.2. Rama nośna sześciokondygnacyjnego budynku 410
14.3. Globalna analiza plastyczna ram stalowych 418

14.3.1. Założenia i uwagi ogólne 418
14.3.2. Analiza plastyczna ram z uwzględnieniem teorii I rzędu 419
Przykład P14.3. Analiza plastyczna ramy portalowej - metoda statyczna 420
Przykład P14.4. Analiza plastyczna ramy dwuryglowej sześciokrotnie statycznie niewyznaczalnej metodą kinematyczną 421
14.3.3. Stężenia punktowe boczne i przeciwskrętne w miejscach przegubów plastycznych 429
14.4. Konstrukcje węzłów 438
14.4.1. Uwagi ogólne 438
14.4.2. Węzły spawane 438
14.4.3. Użebrowane węzły śrubowe 440
14.4.4. Naroża spawane pachwinowe (z zaokrąglonymi pasami wewnętrznymi) 441
14.5. Siły wewnętrzne i nośności elementów składowych użebrowanych węzłów ram 441
14.5.1. Rodzaje modeli obliczeniowych węzłów 441
14.5.2. Model obliczeniowy węzła wierzchołkowego w konfiguracji jednostronnej bez skosów (naroża) 443

Literatura **446**
Książki i artykuły 446
Normy 448

oprac. BPK